

## Аэрокосмический мониторинг в задачах оценки геоэкологических рисков аварийных разливов нефти и нефтепродуктов

В. Г. АКОВЕЦКИЙ\*, А. В. АФАНАСЬЕВ, А. А. ИЛЬЧЕНКО

Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина, Москва, 119991, Россия

\*Контактный автор: Аковецкий Виктор Геннадьевич, e-mail: [geoinforisk@mail.ru](mailto:geoinforisk@mail.ru)

Поступила 30 октября 2020 г., доработана 23 ноября 2020 г., принята в печать 30 ноября 2020 г.

Оценка геоэкологических рисков на объектах нефтегазового комплекса непосредственно связана с обеспечением безопасности территорий, на которых они расположены. Особенно тяжелые последствия воздействия на экологическое состояние территорий оказывают аварийные разливы нефти и нефтепродуктов. Решение данного класса задач требует оценки уровня аварийного разлива и его классификации с позиций возникновения чрезвычайной ситуации. В статье рассмотрена возможность замены традиционных визуальных методов оценки разливов на разработанные автоматизированные и автоматические способы, использующие для решения задач классификации материалы аэрокосмических съемок. Приведены результаты автоматической классификации изображений мониторинговых наблюдений, которые имели место при аварийном разливе дизельного топлива в г. Норильске, аварии танкера на морской акватории о. Маврикий и аварии сухопутного нефтепровода. Полученные результаты показали работоспособность разработанных методов и возможность их использования в задачах инвентаризации и паспортизации аварийных разливов нефти на суше и акваториях.

*Ключевые слова:* аэрокосмический мониторинг, чрезвычайная ситуация, аварийный разлив нефти и нефтепродуктов, интерпретация изображений, классификация нефти.

*Цитирование:* Аковецкий В.Г., Афанасьев А.В., Ильченко А.А. Аэрокосмический мониторинг в задачах оценки геоэкологических рисков аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Вычислительные технологии. 2021; 26(1):72–85. DOI:10.25743/ICT.2021.26.1.006.

### Введение

Задачи, связанные с оценкой рисков бедствий (природного и техногенного характера) для устойчивого развития государств, в начале XXI столетия вышли на передний план исследований ученых многих стран. Основные подходы к их решению были отражены в Сендайской рамочной программе по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг. [1]. Перечень мер программы, относящихся к геоэкологическим аспектам оценки рисков, включает:

- разработку и внедрение научно обоснованных методологий учета данных о потерях от бедствий, обмена ими и их использования в методах моделирования, оценки, картирования, мониторинга и системах раннего оповещения о разных видах угроз;
- обмен данными и их обновление с помощью средств коммуникации, геоинформационных и космических технологий;
- наблюдение за климатом, объектами земной поверхности посредством систем наземного базирования и космических систем дистанционного зондирования Земли;
- оценку рисков и потерь от бедствий, определение уязвимости и характеристик угроз в социальном и пространственном масштабе по отношению к экосистемам с учетом национальных особенностей.

Сложность учета геоэкологических рисков связана с оценкой неопределенности, обусловленной случайной активизацией проявления опасных природных и техногенных процессов. Это требует установления:

- наличия источников опасных природных и техногенных процессов на исследуемой территории (зонирование);
- частоты проявления опасных воздействий (вероятность проявления);
- классификации уровня и мощности опасных воздействий;
- стоимости ликвидации последствий опасных воздействий (оценка ущерба).

Важное место среди представленных направлений исследований занимают задачи, связанные с оценкой и прогнозом геоэкологических рисков при реализации проектов топливно-энергетического комплекса и его важной составной части — нефтегазового комплекса. Именно он неоднократно был источником нефтяного загрязнения сухопутных территорий и акваторий, которое приводило к экологическим катастрофам — авариям на нефтепромыслах, трубопроводных системах и морских танкерах, нефтеперерабатывающих заводах, хранилищах нефти и нефтепродуктов. В первую очередь, это относится к аварийным разливам нефти и нефтепродуктов (АРНН), крупнейшими из которых являются [2]:

- разлив нефти 14 марта 1910 г. в округе Керн (штат Калифорния, США), где в результате аварии на участке компании The Lakeview Oil в течение 18 месяцев было разлито свыше 1.2 млн т нефти;
- загрязнение с объемом разлива 55–97 тыс. т, которое было обнаружено в сентябре 1978 г. в районе Гринпойнт в Бруклине (Нью-Йорк, США), где источником являлись утечки нефти от близлежащих нефтеперерабатывающих заводов, существующих в округе более ста лет;
- авария из-за коррозии на трубопроводе компании “Коминнефть” в июле 1994 г. около г. Усинска (Коми), где произошел разлив 94 тыс. т нефти, при этом общая площадь загрязнения составила 270 га.

Уже в этом столетии произошли АРНН, которые привели к экологическим катастрофам: в Мексиканском заливе (22.04.2010) на плавучей нефтяной платформе Deepwater Horizon [3], в Нефтеюганском районе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры (23.06.2015) [4], в г. Норильске (29.05.2020) [5].

Анализ причин АРНН показал наличие воздействия источников опасных природных и техногенных процессов. Эффективность их учета и последующей нейтрализации зависит от полноты информационной картины развития опасных процессов, связанных с АРНН, и выбора на ее основе наилучших доступных технологий для их нейтрализации. Здесь особое место отводится задаче определения параметров аварии, характеризую-

щих массу и объем разлива нефти, что позволяет классифицировать такой инцидент как чрезвычайную ситуацию.

Целью работы является обеспечение экологической безопасности территорий, где произошли аварийные разливы нефти и нефтепродуктов. Решение данной задачи предполагает:

- обоснование требований к классификации АРНН;
- разработку методов определения параметров классификации аварий;
- проведение экспериментальной апробации методов классификации АРНН на основе использования материалов дистанционного зондирования Земли.

Масса и объем АРНН используются на практике в задачах определения нижнего уровня разлива нефти и нефтепродуктов для отнесения аварийного разлива к чрезвычайной ситуации (ЧС) [6] и классификации ЧС по уровню охвата территории АРНН [7].

Значения нижнего уровня АРНН для водных объектов (внутренних водоемов и морских акваторий) представлены в табл. 1, а для объектов местности — в табл. 2. В зависимости от массы и площади разлившейся нефти и нефтепродуктов выполняется классификация инцидента как чрезвычайной ситуации (табл. 3).

Представленные в табл. 1–3 данные о массе и площади АРНН позволяют отнести происшедший инцидент к ЧС и классифицировать его по территории распространения, а также разработать перечень мероприятий, минимизирующих материальный и социальный ущерб. Традиционно решение данного класса задач строилось на визуальных наблюдениях аварийного разлива с наземных и воздушных точек наблюдения. В их основе лежало определение корреляционных связей между цветом разлившейся нефти и нефтепродуктов и их количественными характеристиками согласно выражению

$$M_p = f(\rho, V_p) = f(\rho, S_p, d),$$

Т а б л и ц а 1. Нижний уровень аварийного разлива нефти и нефтепродуктов на акваториях, относимый к чрезвычайной ситуации, масса, т

Table 1. The lower level of an accidental spill of oil and oil products in water areas, allocable to an emergency, mass, t

Категория водных объектов	Легкие нефтепродукты	Нефть и тяжелые нефтепродукты
Внутренние водоемы		
Рыбохозяйственные водоемы	0.5	1
Водоемы хозяйственно-питьевого водопользования	0.5	1
Водоемы культурно-бытового водопользования	1	1.5
Морские акватории		
Азовское море	0.5	0.5
Черное море	1	1
Каспийское море, Северный Каспий	0.5	0.5
Устье Волги	0.1	0.1
Балтийское море	0.3	0.3
Моря Северного Ледовитого океана	0.5	0.5
Устье Северной Двины	0.3	0.3
Моря Тихого океана	1	1

Т а б л и ц а 2. Нижний уровень аварийного разлива нефти и нефтепродуктов на местности, относимый к чрезвычайной ситуации, масса, т

Table 2. The lower level of an accidental spill of oil and oil products on land, allocable to an emergency, mass, t

Источник загрязнения	Вид загрязнения	Промышленные площадки		Территории населенных пунктов		Водоохранные зоны водных объектов	Прочие территории
		с твердым покрытием	без покрытия	с твердым покрытием	без покрытия		
Разведочные и эксплуатационные скважины	Нефть	40	20	30	15	3	7
Нефте- и продуктопроводы	Нефть	40	20	30	15	Любой факт разлива	7
	ЛН	30	15	20	5		3
Авто- и железнодорожные цистерны	Нефть и ТН	10	5	5	3		3
	ЛН	5	3	3	1		1
Крупнотоннажные стационарные хранилища	Нефть	30	15	20	7	3	7
	ТН	40	20	30	15	5	15
	ЛН	20	7	10	5	1	5
Мелкотоннажные хранилища, объекты розничной реализации нефтепродуктов	Нефть	10	5	6	2	Любой факт разлива	2
	ТН	20	7	10	5		5
	ЛН	10	5	6	0.5		0.5

Примечание. ЛН — легкие нефтепродукты, ТН — тяжелые нефтепродукты.

Т а б л и ц а 3. Классификация чрезвычайных ситуаций при аварийном разливе нефти и нефтепродуктов

Table 3. Classification of emergencies of an accidental spill of oil and oil products

№	Чрезвычайная ситуация	Масса АРНН, т	Площадь, S
1	Локальная	< 100	Объект
2	Местная	100–500	Населенный пункт
3	Территориальная	500–1000	Субъект РФ
4	Региональная	1000–5000	Два субъекта РФ
5	Федеральная	> 5000	Более двух субъектов РФ

где  $M_p$  — масса разлива, т;  $\rho$  — плотность нефти и нефтепродуктов, кг/м<sup>3</sup>;  $V_p$  — объем разлившейся нефти;  $S_p$  — площадь разлива, км<sup>2</sup>;  $d$  — толщина пленки (слоя) разлива.

Для решения задач исторически использовались два подхода: установление связи между цветовыми характеристиками и объемом (табл. 4) и между цветовыми характеристиками и массой (табл. 5). Эти характеристики ориентированы на определение параметров АРНН на морских и внутренних акваториях. Они получены эмпирически в ходе проведения экспериментальных исследований [8–11]. Следует отметить, что важным элементом проводимых исследований является установление времени испарений нефти и нефтепродуктов с водных поверхностей. Этот показатель отражает возмож-

Т а б л и ц а 4. Система кодирования нефти по цвету ее пленки  
Table 4. Oil coding system by the color of its slick

Код	Цвет пленки	Состав	По Боннскому соглашению (январь 2004 г.) [8]		Технический информационный документ [9]	
			Толщина пленки, мкм	Объем, м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>	Толщина пленки, мкм	Объем, м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>
1	Серебристо-серый (блеск)	Нефтяная пленка, легкие фракции, бензин, дизельное топливо, керосин	0.04–0.3	0.04–0.3	> 0.1	0.1
2	Радужный	Нефтяная пленка, легкая и средняя сырая нефть	0.3–5.0	0.3–5.0	> 0.3	0.3
3	Голубовато-металлический	Легкие и средние фракции, мазут	5.0–50	5.0–50	–	–
4	Коричневый	Сырая и топливная нефть	50–200	50–200	> 100	100
5	От коричневого, оранжевого до черного	Водонефтяные эмульсии, тяжелые фракции сырой нефти	200	> 500	> 1000	> 1000

Т а б л и ц а 5. Оценка среднего содержания массы нефти при разливе по цвету ее пятна  
Table 5. Estimation of the average mass of oil during at a spill by the color of its slick

Код	Цвет нефтяной пленки	Среднее содержание нефти, г/км <sup>2</sup> (г/м <sup>2</sup> )	
		[10]	[11]
1	Серебристо-серый	0.1–0.2	0.02–0.1
2	Радужный	0.2	0.3
3	Голубой	0.4	1
4	Светло-коричневый	1.2	5
5	От коричневого, оранжевого до черного	2.4	15/25

ное нахождение нефтяного пятна на водной поверхности в зависимости от типа нефти (рис. 1). Здесь показаны графики временной протяженности нахождения загрязнения акватории для четырех типов нефти согласно классификации Американского института нефти (API) [12]. Из рис. 1 видно, что время испарения составляет:

- для легких сортов 1-й группы — несколько часов;
- сортов 2-й группы — несколько недель;
- сортов 3-й группы — до года;
- тяжелых сортов 4-й группы и нефтяной эмульсии — свыше года.

Учитывая данные показатели, основное внимание при АРНН следует уделять нефтяным загрязнениям, содержащим нефть 3-й и 4-й групп согласно классификации API и 4-й и 5-й групп по отечественному ГОСТ 51858-2002 [13].

Развитие аэрокосмических систем дистанционного зондирования Земли позволяет перейти к автоматизированным и автоматическим системам интерпретации материалов

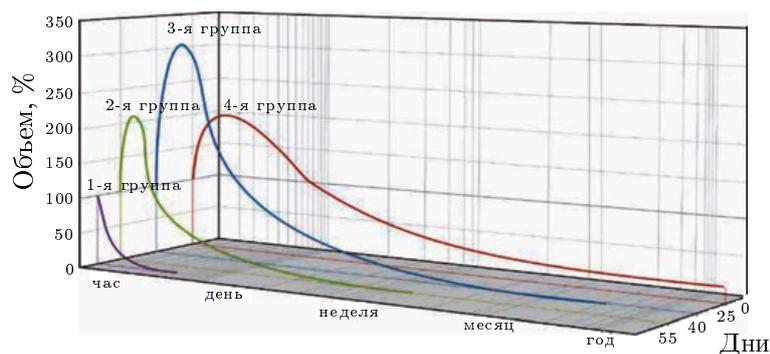


Рис. 1. Усредненное время нахождения нефтяного разлива на акватории для разных сортов нефти и нефтепродуктов [12]

Fig. 1. Average residence time of an oil spill in the water area for different types of oil and oil products [12]

аэрокосмических мониторинговых наблюдений АРНН. С этой целью, согласно заданным категориям классификации, были подобраны эталоны изображений с разливами нефти, представленные в табл. 6.

Практическая реализация изложенного подхода выполнена на основе опытного образца программного комплекса АГИР-ТМ. В качестве примеров рассмотрены АРНН, происшедшие в г. Норильске (рис. 2 и 3) и у о. Маврикий (рис. 4).

В ходе космического мониторинга аварийного разлива дизельного топлива, который произошел в г. Норильске 29.05.2020 г., решались следующие задачи:

- локализация участков космических наблюдений;
- космические наблюдения динамики изменения контролируемых параметров воздействия опасных процессов;
- интерпретация изображений наблюдаемых процессов.

Т а б л и ц а 6. Цветовые градации пленки нефти и нефтепродуктов

Table 6. Color gradations of the slick of oil and oil products

Код	Цвет пленки; состав	Цветовые эталоны нефти и нефтепродуктов
1	Серебристо-серый (блеск); нефтяная пленка, легкие фракции, дизельное топливо, керосин	
2	Радужный; нефтяная пленка, бензин, легкая и средняя сырая нефть	
3	Голубовато-металлический; легкие и средние фракции, мазут	
4	Коричневый; сырая и топливная нефть	
5	Коричнево-оранжевый — черный; водонефтяные эмульсии, тяжелые фракции сырой нефти	

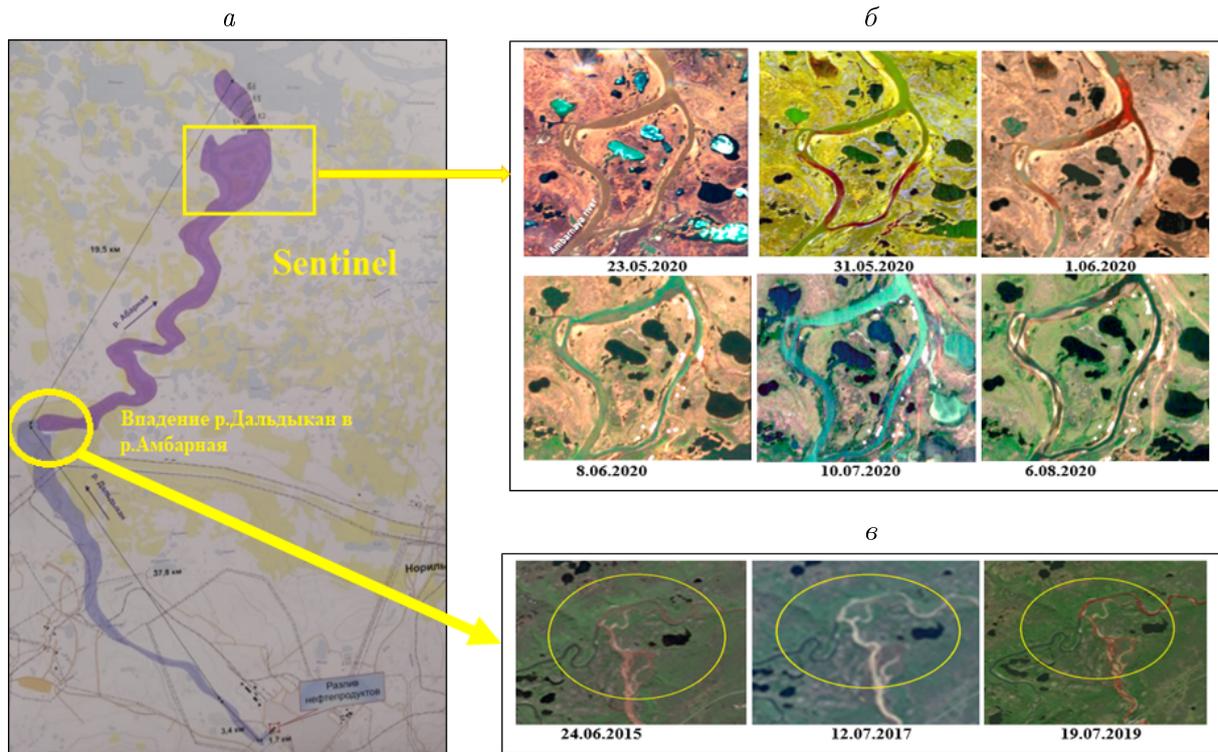


Рис. 2. Примеры участков космических мониторинговых наблюдений аварийного разлива топлива в г. Норильске: *a* — картосхема исследуемой территории; *б* — текущий мониторинг динамики аварийного разлива дизельного топлива; *в* — контрольный участок мониторинговых наблюдений

Fig. 2. Examples of sites of space monitoring of an accidental fuel spill in Norilsk: *a* — schematic map of the study area; *б* — monitoring of the dynamics of the accidental diesel fuel spill; *в* — control area of monitoring observations

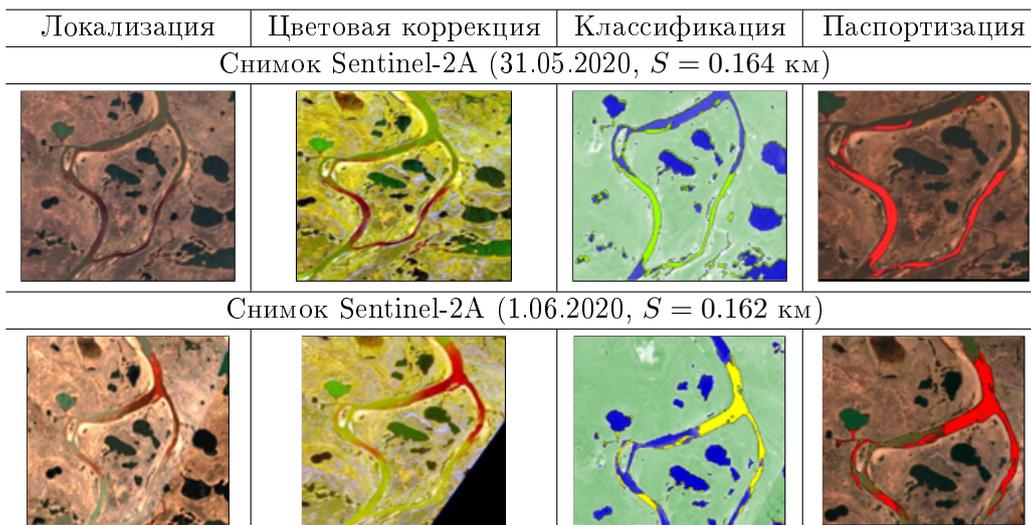


Рис. 3. Процедуры интерпретации аэрокосмических мониторинговых наблюдений аварийного разлива нефти и нефтепродуктов в г. Норильске

Fig. 3. Procedures for the interpretation of aerospace monitoring observations of an accidental spill of the oil and oil product in Norilsk

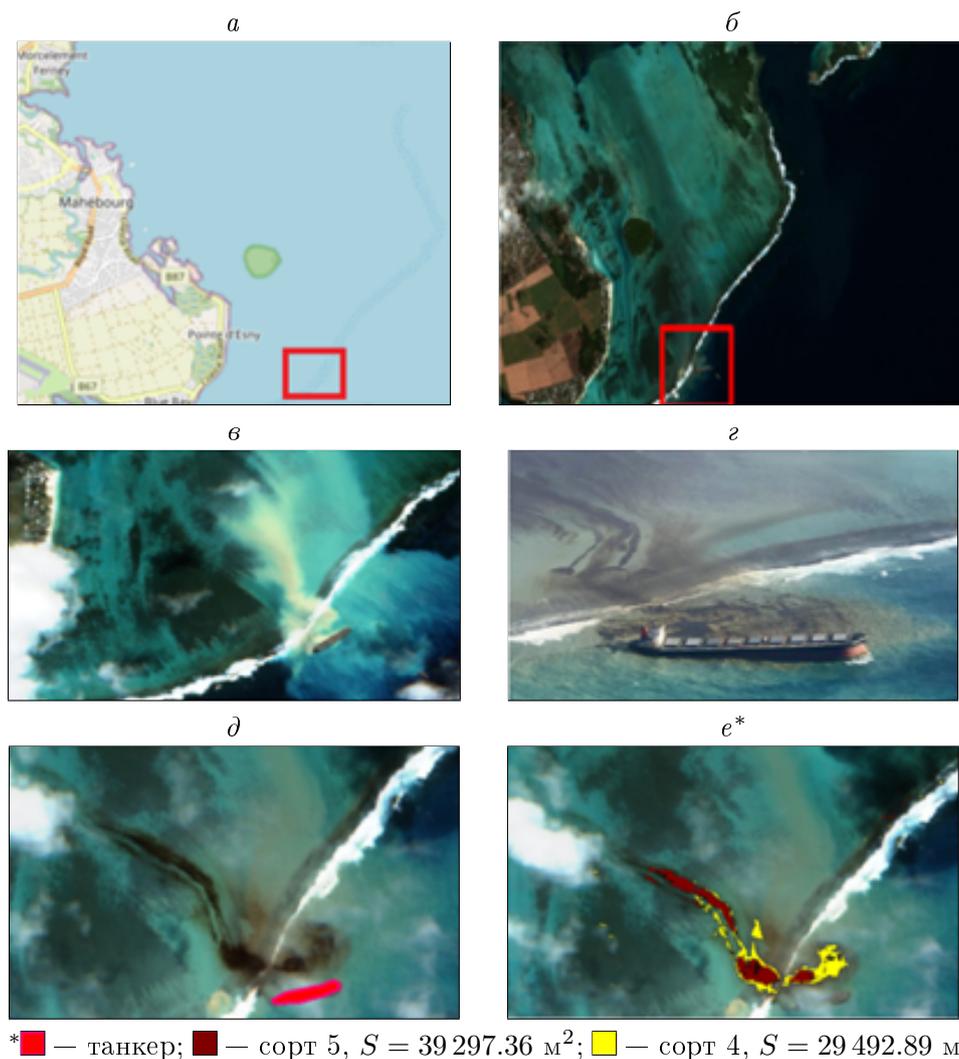


Рис. 4. Аэрокосмические мониторинговые наблюдения аварийного разлива нефти танкера у о. Маврикий: *a* — картосхема места аварии; *б* — фотокарта места аварии; *в* — авария танкера: 01.08.2020; *г* — танкер: 06.08.2020; *д* — разлив: 11.08.2020; *е* — интерпретация разлива: 11.08.2020

Fig. 4. Aerospace monitoring of an accidental oil spill of the tanker in Mauritius: *a* — accident site map; *б* — photo map of the accident site; *в* — tanker accident; *г* — tanker; *д* — oil spill; *е* — spill interpretation

Объектами наблюдений, представленных на картосхеме (рис. 2, *a*) [14], выбраны: участок впадения р. Дальдыкан в р. Амбарная (рис. 2, *б*) и участок р. Амбарная (рис. 2, *в*) перед впадением в оз. Пясино, где были размещены боновые заграждения. На изображениях, показывающих впадение р. Дальдыкан в р. Амбарная, полученных с интервалом 2 года (2015, 2017, 2019 гг.), видно, что загрязнение р. Дальдыкан имеет четко выраженный характер. На участке слияния рек акватория р. Амбарная изменяет свой цвет, что говорит о наличии постоянно действующих источников загрязнения р. Дальдыкан и их негативном воздействии на окружающие реку природные компоненты (воздух, поверхностные воды, почвенный и растительный покров, рыбные ресурсы).

На изображениях, полученных с космического аппарата Sentinel-2A (Европейского космического агентства), представлена динамика изменения состояния акватории

р. Амбарная с 23.05.2020 по 6.08.2020. На них видно максимальное загрязнение акватории, которое имело место с 31.05 по 1.06, а также перемещение пятна разлива до участков расположения боновых заграждений. На снимках, полученных 8.06.2020, заметно уже существенное ослабление уровня загрязнения воды, которое практически отсутствует на снимке от 10.07.2020. Наряду с этим, на снимке от 6.08.2020 на исследуемом участке реки отражен спад уровня воды и проявились участки отмели с признаками загрязнения, которые представляют интерес как индикаторы загрязнения донных осадков.

На рис. 3 показаны примеры реализации процедур интерпретации, которые включают: локализацию участка обработки, цветовую коррекцию (нормализацию), классификацию наблюдаемых объектов и паспортизацию исследуемых процессов. Здесь выполнены автоматическая интерпретация движения пятна дизельного топлива, имевшего место с 31.05 по 1.06, его выделение и определение площади, которая составила соответственно 0.164 и 0.162 км<sup>2</sup>.

В ходе аэрокосмического мониторинга разлива нефти, который произошел у о. Маврикий 1.08.2020, были решены следующие задачи:

- локализация местоположения аварии танкера (рис. 4, а, б);
- мониторинговые наблюдения динамики развития разлива нефти (рис. 4, в–д);
- интерпретация характера разлива нефти (рис. 4, е).

В ходе мониторинговых наблюдений использовались снимки, полученные с космического аппарата Sentinel-2А (рис. 4, б, в, д, е), и снимки с самолета (рис. 4, з). Посредством интерпретации выделены сорта сырой тяжелой нефти (сорт 5), а также сырой нефти (сорт 4).

Наряду с мониторинговыми наблюдениями водных объектов актуальной задачей является контроль состояния аварийных разливов нефти на сухопутных объектах. В этом случае для оценки состояния участков АРНН используются показатели нефтенасыщенности грунта, который лежит в основе задач рекультивации таких земель.

Количество нефти, впитавшейся в грунт, определяют по формуле

$$M_{\text{вп}} = K_{\text{н}}\rho V_{\text{гр}},$$

где  $K_{\text{н}}$  — нефтеемкость грунта;  $\rho$  — плотность нефти, т/м<sup>3</sup>;  $M_{\text{вп}}$  — масса нефтенасыщенного грунта, т;  $V_{\text{гр}}$  — объем нефтенасыщенного грунта, м<sup>3</sup>. По плотности нефти  $\rho$  различаются [13]: особо легкая ( $\rho < 0.830$  т/м<sup>3</sup>), легкая ( $\rho = 0.831\text{--}0.850$  т/м<sup>3</sup>), средняя ( $\rho = 0.851\text{--}0.870$  т/м<sup>3</sup>), тяжелая ( $\rho = 0.871\text{--}0.895$  т/м<sup>3</sup>), битуминозная ( $\rho > 0.895$  т/м<sup>3</sup>). Объем нефтенасыщенного грунта  $V_{\text{гр}}$  вычисляют по формуле

$$V_{\text{гр}} = S_{\text{гр}}h_{\text{ср}},$$

где  $h_{\text{ср}}$  — средняя глубина пропитки грунта на всей площади  $S_{\text{гр}}$  нефтенасыщенного грунта.

Глубина пропитки грунта определяется как среднее арифметическое из не менее пяти шурфовок, равномерно распределенных по всей поверхности. Значение нефтеемкости грунта  $K_{\text{н}}$  в зависимости от влажности принимается по табл. 7 [10].

Успешное решение данной задачи предполагает локализацию участков нефтезагрязнения и определение их площади на основе использования систем аэрокосмического мониторинга. Пример такого подхода представлен на рис. 5. Здесь приведены наблюдения участков АРНН на нефтепроводе в 2012 г. (рис. 5, а) и 2017 г. (рис. 5, б). На снимке

Т а б л и ц а 7. Нефтеемкость грунта  $K_n$  в зависимости от влажности  
 Table 7. The oil capacity of soil  $K_n$  depending on humidity

Грунт	Влажность, %				
	0	20	40	60	80
Гравий (диаметр частиц 2–20 мм)	0.30	0.24	0.18	0.12	0.06
Пески (диаметр частиц 0.05–2 мм)	0.30	0.24	0.18	0.12	0.06
Кварцевый песок	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
Супесь, суглинок (средний и тяжелый)	0.35	0.28	0.21	0.14	0.07
Суглинок легкий	0.47	0.38	0.28	0.18	0.10
Глинистый грунт	0.20	0.16	0.12	0.08	0.04
Торфяной грунт	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10

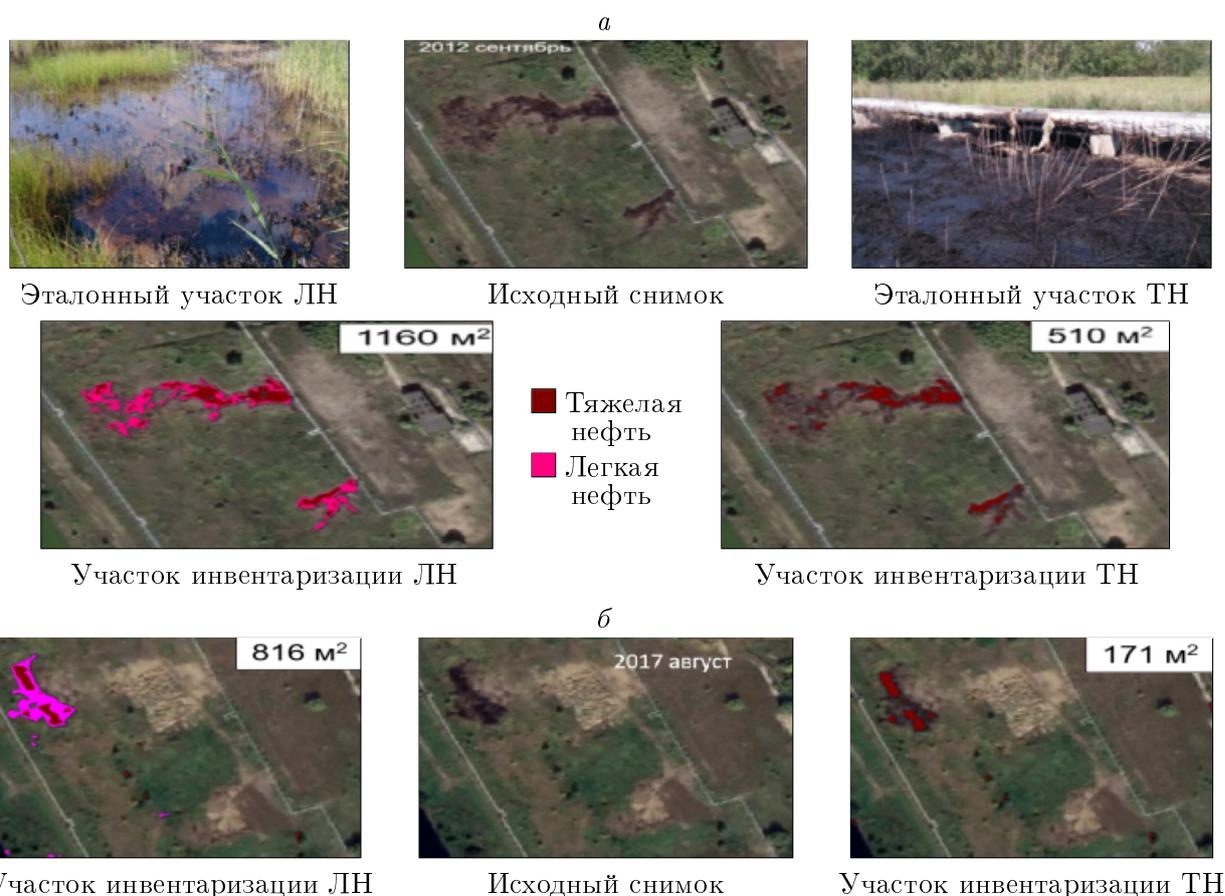


Рис. 5. Аэрокосмические мониторинговые наблюдения аварийного разлива нефти на нефтепроводе: интерпретация АРНН на космических снимках 2012 г. (а) и 2017 г. (б)

Fig. 5. Aerospace monitoring of an accidental oil spill on the oil pipeline: spill interpretation on satellite images of 2012 (a) and 2017 (b)

2012 г. представлены результаты интерпретации участков нефтезагрязнения разлившейся тяжелой нефти и легких ее компонентов. Подтверждение результатов интерпретации показано изображениями эталонных участков снимков, полученных в ходе наземных съемок.

Следует отметить: выделенные участки нефтезагрязнения на снимках 2012 г. были подвергнуты рекультивации, что отражено на снимках 2017 г., здесь же видно наличие нового аварийного разлива нефти, границы которого показаны на рис. 5, б.

Т а б л и ц а 8. Характеристики нефтяного аварийного разлива на нефтепроводе  
Table 8. Characteristics of an oil accidental spill on an oil pipeline

Источник разлива	Форма	Структура	Код: цвет	Состав	Площадь, м <sup>2</sup>
1. Авария нефтепровода, 2012 г.	Полигон	Разрывы, 80 %	4: коричневый; 5: коричнево-черный	Легкая нефть Сырая нефть, тяжелые фракции	1160 510 Общая 1670
2. Авария нефтепровода, 2017 г.	Полигон	Сплошная, более 90 %	4: коричневый 5: коричнево-черный	Легкая нефть Сырая нефть, тяжелые фракции	816 170 Общая 986

Паспорта инвентаризации нефтезагрязненных участков, полученные в ходе аэрокосмического мониторинга, представлены в табл. 8.

## Выводы

Показана актуальность решения задач, связанных с проблемой ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на объектах нефтегазового комплекса. Рассмотрены основные подходы аэрокосмических мониторинговых наблюдений и автоматической интерпретации параметров разлива. В основе предложенного подхода лежит использование “цифровых двойников”, реализующих переход от ручных (визуальных) к автоматизированным и автоматическим режимам определения параметров разлива нефти: площади, состава и массы. Результаты, представленные в статье, показали работоспособность предложенного метода и возможность его использования в задачах оценки геоэкологических рисков, связанных с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов на суше и акваториях.

## Список литературы

- [1] Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015–2030 годы. Организация Объединенных Наций; 2015. Адрес доступа: <http://cso-central.asia/wp-content/uploads/2014/08/N1524455.docx>.
- [2] Крупнейшие разливы нефти на суше. Адрес доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/4366199> (дата обращения 29.10.2020).
- [3] Deepwater horizon study group. Final Report on the Investigation of the Macondo Well Blowout. Center for Catastrophic Risk Management; 2011: 124. Available at: <http://www.wellintegrity.net/Documents/NAE-NRC%20Report%202011-12-14.pdf>
- [4] Статья “Под Нефтеюганском произошел крупный разлив нефти”. Адрес доступа: <https://www.rbc.ru/society/29/06/2015/559131c99a7947453f430141>. (дата обращения 29.10.2020).
- [5] Статья “Росприроднадзор оценил ущерб от аварии в Норильске в рекордные \$2 млрд”. Адрес доступа: <https://www.rbc.ru/business/06/07/2020/5ef9e42a9a7947264d24cc19> (дата обращения 29.10.2020).
- [6] Приказ МПР РФ от 03.03.2003 № 156 “Указания по определению нижнего уровня разлива нефти и нефтепродуктов для отнесения аварийного разлива

- к ЧС". Адрес доступа: <https://47.mchs.gov.ru/deyatelnost/stranicy-s-glavnoy/zakonodatelstvo/normativno-pravovye-dokumenty-v-oblasti-go-i-chs/prikaz-minprirody-rossii-ot-03-03-2003-156-ob-utverzhdanii-ukazaniy-po-opredeleniyu-nizhnego-urovnya-razliva-nefti-i-nefteproduktov-dlya-otneseniya-avariynogo-razliva-k-chrezvychaynoy-situacii>.
- [7] Постановление Правительства РФ от 21.08.2000 № 613 “О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов”. Адрес доступа: <https://47.mchs.gov.ru/deyatelnost/stranicy-s-glavnoy/zakonodatelstvo/normativno-pravovye-dokumenty-v-oblasti-go-i-chs/pp-rf-ot-21-08-2000-613-o-neotlozhnyh-merah-po-preduprezhdeniyu-i-likvidacii-avariynyh-razlivov-nefti-i-nefteproduktov>.
- [8] Bonn agreement aerial operations handbook. Part 3, Annex E, Discharges from ships Part III, post flight analysis Page 25 Version: 11 September 2017. Available at: <https://www.bonnagreement.org/publications>.
- [9] Aerial observation of marine oil spills. Technical information paper. 2011 ITOPF Ltd. Produced by Impact PR & Design. Limited, Canterbury, UK. Available at: [https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP\\_1\\_Aerial\\_Observation\\_of\\_Marine\\_Oil\\_Spills.pdf](https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP_1_Aerial_Observation_of_Marine_Oil_Spills.pdf)
- [10] Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах (утв. Минтопэнерго РФ от 01.11.95). Адрес доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=67971>.
- [11] **Гюль А.К.** Проблема загрязнения Каспийского моря. Баку: Муаллим нешрийаты; 2003: 71.
- [12] Fate of marine oil spills. Technical information paper. 2011 ITOPF Ltd. Produced by Impact PR & Design. Limited, Canterbury, UK. Available at: [https://www.itopf.org/uploads/translated/TIP\\_2\\_2011\\_RU\\_Fate\\_of\\_marine\\_oil\\_spills.pdf](https://www.itopf.org/uploads/translated/TIP_2_2011_RU_Fate_of_marine_oil_spills.pdf)
- [13] ГОСТ 51858-2002. Нефть. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2006. Адрес доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200028839>.
- [14] Статья “В “Норникеле” рассказали о своевременном информировании по поводу разлива топлива на ТЭЦ-3”. Адрес доступа: <https://sgnorilsk.ru/news/v-nornikele-rasskazali-o-svoevremennom-informirovanii-po-povodu-razliva-topлива-na-tec3>.

## **Aerospace monitoring in the problems for assessment of geoeological risks for accidental spills of oil and petroleum products**

AKOVETSKY VICTOR G.\*, AFANASYEV ALEXEY V., ILCHENKO ANGELA A.

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, 119991, Russia

\*Corresponding author: Akovetsky Victor G., e-mail: [geoinforisk@mai.ru](mailto:geoinforisk@mai.ru)

Received October 30, 2020, revised November 23, 2020, accepted November 30, 2020

### Abstract

*Purpose.* The aim of this work is to ensure the environmental safety of the territories where the accidental spills of oil and oil products have occurred. They have a significant negative impact on the environment of land and water areas. To minimize their impact and eliminate the consequences, an “emergency” regime is introduced in Russia. Depending on the level of the oil spill, it may cover both the territory of a separate facility and a region, and the entire state as a whole.

*Methods.* Traditionally, an estimate of the level of a spill is determined based on the mass of the spilled oil through visual observations from aircraft or ground measurements at selected points. This approach does not allow an accurate assessment of the total area of pollution, the nature of pollution inside the oil slick, as well as the dynamics of its spread over time. To eliminate these limitations, it is proposed to use systems of aerospace monitoring observations and automatic measurements of oil slick parameters: area, composition and mass. To solve this problem, the method of “comparison with the reference standard” was used. Here, samples of color gradations of oil and oil product spill spots proposed in the Bonn Agreement of 2004 were prepared as reference standards.

*Results.* The method was implemented using the experimental software complex AGIR-TM (Aerospace, Geoinformatics, Research, Risks-Technological Modules) which was developed at the Department of Geoecology of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU). During the experimental testing of this method, the work was carried out to assess the accidental spill in the following cases diesel fuel in Norilsk (2020), oil on a tanker in the water area of Mauritius (2020) and oil in an oil pipeline (2012, 2017). The method provides the localization of the area spills along with the color correction (normalization), classification of the composition of oil and oil products and the through account of the investigated processes. The work results in determination for the area of the oil and oil products spill, its composition and weight.

*Conclusions.* The article shows the relevance of solving problems related to the problem of liquidation of emergency spills of oil and oil products at the facilities of the oil and gas complex. The main approaches to aerospace monitoring observations and automatic interpretation of spill parameters are considered. The proposed approach is based on the use of “digital twins” that implement the transition from manual (visual) to automated and automatic modes for determining the parameters of an oil spill: area, composition and mass. The results presented in the article showed the efficiency of the proposed method and the possibility of its use in the tasks of assessing geoecological risks associated with accidental spills of oil and oil products on land and in water areas.

*Keywords:* aerospace monitoring, emergency, accidental oil and petroleum products spills, image interpretation, oil classification.

*Citation:* Akovetsky V.G., Afanasyev A.V., Ilchenko A.A. Aerospace monitoring in the problems for assessment of geoecological risks for accidental spills of oil and petroleum products. Computational Technologies. 2021; 26(1):72–85. DOI:10.25743/ICT.2021.26.1.006. (In Russ.)

### References

1. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. United Nations; 2015. Available at: <http://cso-central.asia/wp-content/uploads/2014/08/N1524455.docx> (In Russ.)
2. Largest onshore oil spills. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/4366199> (accessed 10/29/2020). (In Russ.)
3. Deepwater horizon study group. Final Report on the Investigation of the Macondo Well Blowout. Center for Catastrophic Risk Management; 2011: 124. Available at: <http://www.wellintegrity.net/Documents/NAE-NRC%20Report%202011-12-14.pdf>.
4. Major oil spill near Nefteyugansk. Available at: <https://www.rbc.ru/society/29/06/2015/559131c99a7947453f430141>. (accessed 10/29/2020). (In Russ.)
5. Rosprirodnadzor estimates the damage from the accident in Norilsk at a record \$2 billion. Available at: <https://www.rbc.ru/business/06/07/2020/5ef9e42a9a7947264d24cc19> (accessed 10/29/2020). (In Russ.)

6. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of 03.03.2003 No. 156 "Instructions for determining the lower level of an oil and oil product spill for classifying an emergency spill as an emergency". Available at: <https://47.mchs.gov.ru/deyatelnost/stranicy-s-glavnoy/zakonodatelstvo/normativno-pravovye-dokumenty-v-oblasti-go-i-chs/prikaz-minprirody-rossii-ot-03-03-2003-156-ob-utverzhenii-ukazaniy-po-opredeleniyu-nizhnego-urovnya-razliva-nefti-i-nefteproduktov-dlya-otneseniya-avariynogo-razliva-k-chrezvychaynoy-situacii>. (In Russ.)
7. Decree of the Government of the Russian Federation of August 21, 2000 No. 613 "On urgent measures to prevent and eliminate accidental oil and oil products spills". Available at: <https://47.mchs.gov.ru/deyatelnost/stranicy-s-glavnoy/zakonodatelstvo/normativno-pravovye-dokumenty-v-oblasti-go-i-chs/pp-rf-ot-21-08-2000-613-o-neotlozhnyh-merah-po-preduprezhdeniyu-i-likvidacii-avariynyh-razlivov-nefti-i-nefteproduktov>. (In Russ.)
8. Bonn agreement aerial operations handbook. Part 3, Annex E, Discharges from ships Part III, post flight analysis Page 25 Version: 11 September 2017. Available at: <https://www.bonnagreement.org/publications>.
9. Aerial observation of marine oil spills. Technical information paper. 2011 ITOPF Ltd. Produced by Impact PR & Design. Limited, Canterbury, UK. Available at: [https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP\\_1\\_Aerial\\_Observation\\_of\\_Marine\\_Oil\\_Spills.pdf](https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP_1_Aerial_Observation_of_Marine_Oil_Spills.pdf)
10. Methodology for determining the environmental damage in case of accidents on the main oil pipelines (approved by the Ministry of Fuel and Energy of the Russian Federation of 01.11.95). Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=67971>. (In Russ.)
11. **Gul A.K.** Problema zagryazneniya Kaspiyskogo morya [The problem of pollution of the Caspian Sea]. Baku: Muallim neshriyyaty; 2003: 71. (In Russ.)
12. Fate of marine oil spills. Technical information paper. 2011 ITOPF Ltd. Produced by Impact PR & Design. Limited, Canterbury, UK. Available at: [https://www.itopf.org/uploads/translated/TIP\\_2\\_2011\\_RU\\_Fate\\_of\\_marine\\_oil\\_spills.pdf](https://www.itopf.org/uploads/translated/TIP_2_2011_RU_Fate_of_marine_oil_spills.pdf)
13. GOST 51858-2002. Oil. General technical conditions. Moscow: Standartinform; 2006. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200028839>. (In Russ.)
14. Norilsk Nickel told about timely notification of fuel spill at the CHPP-3. Available at: <https://sgnorilsk.ru/news/v-nornikele-rasskazali-o-svoevremennom-informirovanii-po-povodu-razliva-topliva-na-tec3>. (In Russ.)